

## Список літератури

1. Пат. 59644 Україна, МПК В03В 11/00, В02С 25/00. Спосіб автоматичної стабілізації розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням / Кондратець В.О., Сербул О.М.; заявник і патентовласник Кіровоградський нац. техн. у-т.- №2002118758; заявл. 05.11.02; опубл. 15.04.05, Бюл. №4.
2. Пат. 40465 Україна, МПК В03В 11/00, В02С 25/00. Пристрій автоматичної стабілізації розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням / Кондратець В.О., Сербул О.М.; заявник та патентовласник Кіровоградський нац. техн. ун-т. - №u200813005; заявл. 10.11.08; опубл. 10.04.09, Бюл. №7.
3. Волотковский С.А. Автоматизация производственных процессов на обогатительных фабриках / С. Волотковский, В. Бунько.- М.: Недра, 1964.- 282 с.
4. Автоматизация управления обогатительными фабриками / [Кошарский Б.Д., Ситковский А.Я., Красномовец А.В. и др.].- М.: Недра, 1977.- 527 с.
5. Троп А.Е. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик / Троп А.Е., Козин В.З., Прокофьев Е.В.- М.: Недра, 1986.- 303 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Мецераковим Л.І.*

*Надійшла до редакції 11.11.13*

УДК 624.154.1

© Н.В. Зуєвська, М.О. Гембарська

## **ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ АНАЛІЗУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОСНОВИ ПАЛЕВОГО ФУНДАМЕНТУ**

В роботі порівнюються результати досліджень впливу палевого фундаменту на ґрунтову основу з використанням ростверку відповідної жорсткістю по випробуванням на будівельному майданчику та з застосуванням програмного комплексу Plaxis 3D foundation.

В работе сравниваются результаты исследования влияния свайного фундамента на ґрунтовую основу с использованием ростверка определенной жесткости по испытаниям на строительном участке и с применением программного комплекса Plaxis 3D foundation.

The results of researches about influence of pile's foundation with grillage of certain inflexibility to the basement according to tests on a build area and with the use of programmatic complex Plaxis 3d foundation are compared in this article.

**Вступ.** Значення пальових фундаментів важко переоцінити, вони займають значну нішу як в цивільному, так і в промисловому будівництві. Проблемі взаємодії паль з ґрунтовою основою присвячено багато робіт, і на даний момент характер роботи одиночної палі є достатньо вивченим. Однак питання роботи і взаємодії групи паль, в тому числі в куці, є проблемним. Це пояснюється тим, що взаємодія палі з оточуючим ґрунтовим масивом має складний нелінійно-просторовий характер, а при зведенні групи паль виникають додаткові фактори впливу, наприклад такі як: співвідношення діаметра палі і відстані між ними, відстані між палями і довжиною паль, ширини ростверку і довжини паль, жорсткості ростверку тощо.

До прийняття Зміни №1 до ДБН В.2.1-10-2009 «Основи та фундаменти споруд» в 2011 р. [1] в Україні відповідно до діючого тоді СНіПу [2] осадки пальових фундаментів розраховували за схемою умовного фундаменту. Така розрахункова схема мала ряд недоліків, до яких відноситься припущення, що при відстані між палями менш ніж 6d зміщення палі і ґрунту в міжпальовому просторі проходить одночасно, і пальовий фундамент і ґрунт зміщуються як єдиний масив. Це твердження є хибним, про що свідчить ряд робіт [3, 4]. Згідно нового нормативного документу [1] осідання групи паль розраховують за методикою, що враховує взаємний вплив паль у фундаменті. Однак відомо, що суттєве значення в роботі пальового фундаменту має також і низький ростверк [5], але в нормативному документі [1] це питання ніяк не висвітлено і при розрахунках не враховується.

Вплив ростверку на характер передачі навантаження на ґрунтову основу пальового фундаменту й відповідно його осідань, залежить не тільки від його розмірів, але й від жорсткості. Проведення експериментальних натурних дослідження такого впливу є складним і дорогим. Альтернативним способом вирішення цієї проблеми є застосування комп'ютерного моделювання, що базується на програмах, які описують нелінійну поведінку ґрунту.

**Постановка завдання.** В статті розглядається вплив низького ростверку певної жорсткості на характер роботи і осідання пальового куща.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** Для достовірності результатів розрахунку на ЕОМ моделювалась робота буронабивної палі випробуваної статичним навантаженням на будівельному майданчику в м. Києві. Базуючись на даних випробувань створена розрахункова модель в програмному комплексі Plaxis 3D foundation. Обрана натурна паля має такі геометричні параметри: довжина палі складає 24,5 м, її діаметр становить 0,82 м. Влаштована паля переважно у алювіальних пісках а<sub>III-IV</sub>, зверху присутній двометровий шар намівного піску. На рівні трьох з половиною метрів знаходяться ґрунтові води. Ґрунти мають такі фізико-механічні характеристики: для алювіальних пісків модуль деформації  $E = 25$  МПа, кут внутрішнього тертя  $\varphi = 33^\circ$ , зчеплення  $c = 2$  кН/м<sup>2</sup>; для намівних пісків:  $E = 22$  МПа,  $\varphi = 33^\circ$ ,  $c = 3$  кН/м<sup>2</sup>.

В якості логіко-математичного опису задачі використовувалась модель скінчених елементів ґрунтової основи та тіла палі. Паля задавалась за допомогою команди *Massive circular pile* як лінійно-пружній непористий матеріал. Ґрунтова основа являє собою куб з розмірами 44×44×35 м (a×b×h). При цьому для моделювання середовища обрана модель ґрунту, що зміцнюється. Ця пружньопластична модель гіперболічного типу дозволяє враховувати ефект зміцнення як при стисненні так і при зсуві; а також враховувати залежність жорсткісних характеристик від напруження.

В програмі проведено серію розрахунків типу «навантаження-осадка» в діапазоні навантажень до 5600 кН; при цьому паля навантажувалась ступінчасто у відповідності зі статичним випробуванням натурної палі. В результаті побудовано графіки осадки за даними статичного випробування і за результатами розрахунку (рис. 1).

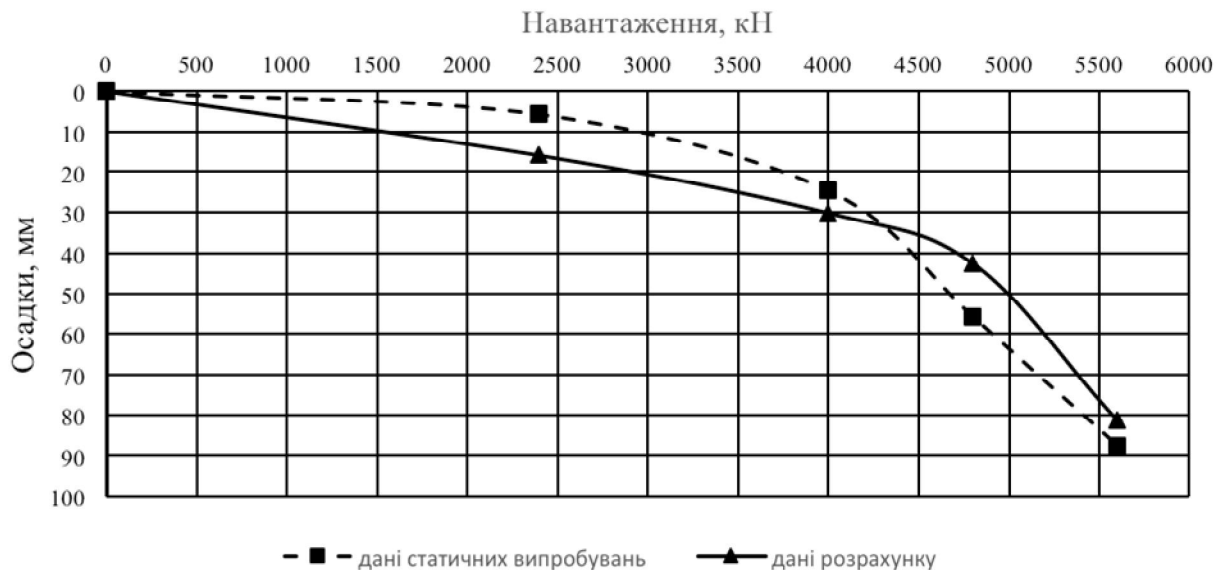


Рис.1. Графік осадки палі за даними статичного випробування і комп'ютерного розрахунку

З графіків видно, що вибрана модель досить точно прогнозує роботу палі у ґрунті, внаслідок чого вона прийнята для подальшого моделювання групи палей.

Розрахунок ведеться для куца з п'яти палей (рис. 2) для двох випадків: при відстані між палями 3d і 6d.

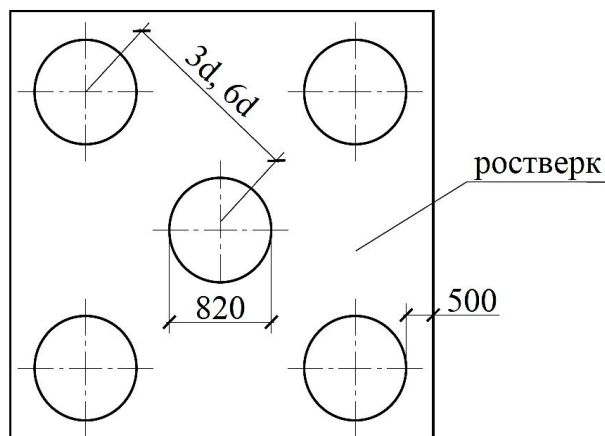


Рис. 2. Розташування палей в куці об'єднаних ростверком

Для кожного з випадків проводиться декілька варіантів розрахунку:

1) Група палей необ'єднана ростверком, кожна з палей ступінчасто навантажується в 4-ри етапи навантагою в 2400 кН, 4000 кН, 4800 кН, 5600 кН;

2) Група палей об'єднана жорстким ростверком з модулем деформації  $E=2,1 \times 10^8$  кН/м<sup>2</sup>, система навантажується ступінчасто зосередженим навантаженням по центру в 12000 кН, 20000 кН, 24000 кН, 28000 кН. Значення навантаження розраховано виходячи з навантаження на одну палю прийнятого в першому варіанті розрахунку, але з врахуванням кількості палей ( 5 шт.);

3) Група паль об'єднана жорстким ростверком з модулем деформації  $E=2,1 \times 10^8$  кН/м<sup>2</sup>, система навантажується ступінчасто розподіленою навантагою, яка розраховується в залежності від площі ростверку, виходячи з навантаження на одну палю прийнятого в першому варіанті розрахунку з врахуванням кількості паль;

4) Група паль об'єднана гнучким ростверком з модулем деформації  $E=1 \times 10^6$  кН/м<sup>2</sup>, система навантажується ступінчасто розподіленою навантагою, аналогічно попередньому варіанту.

Значення величин осадок за перерахованими варіантами розрахунків для випадків при відстанях між палями в 3d і 6d показано на рис. 3 і рис. 4 відповідно. По осі «Х» відкладено значення навантажень, що за прогнозом припадають на 1-ну палю.

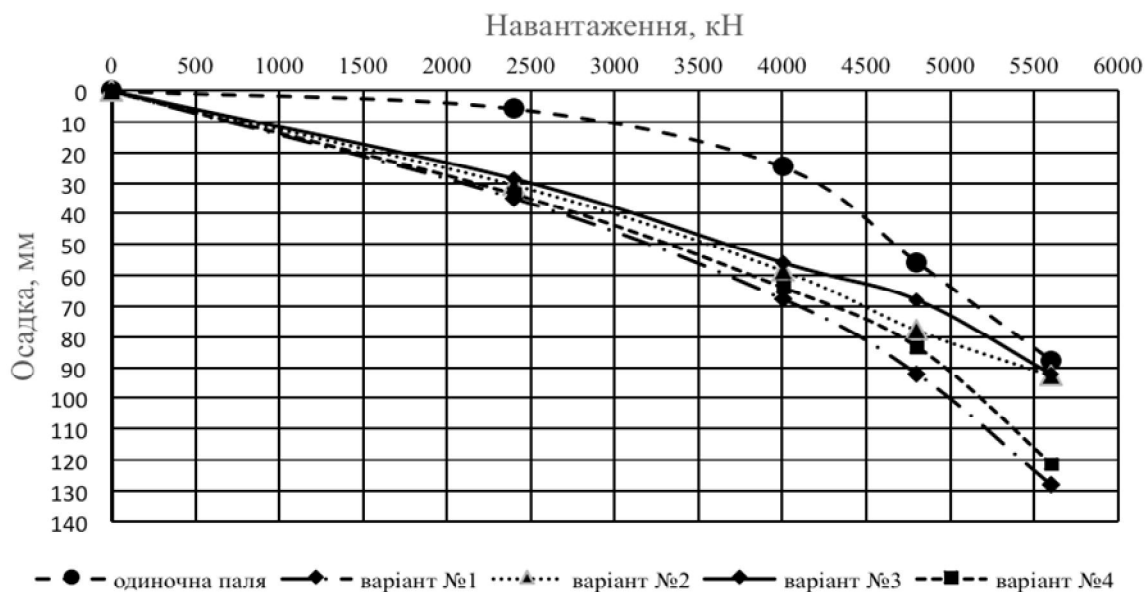


Рис. 3. Графіки осадки паль в куці за визначеними варіантами розрахунку при відстані між палями 3d

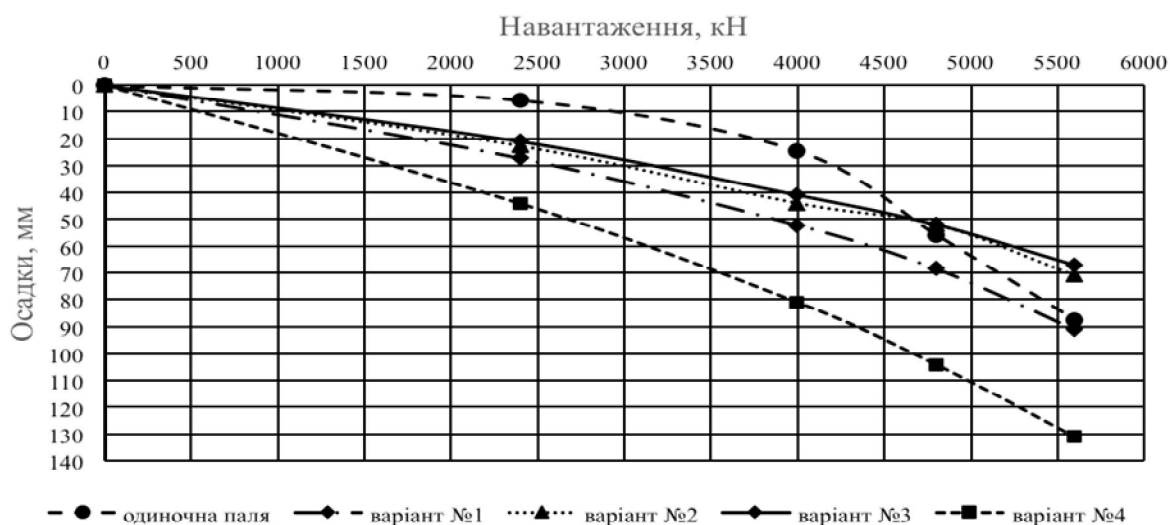
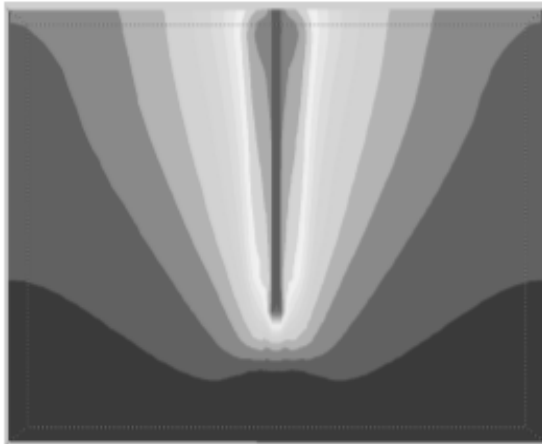
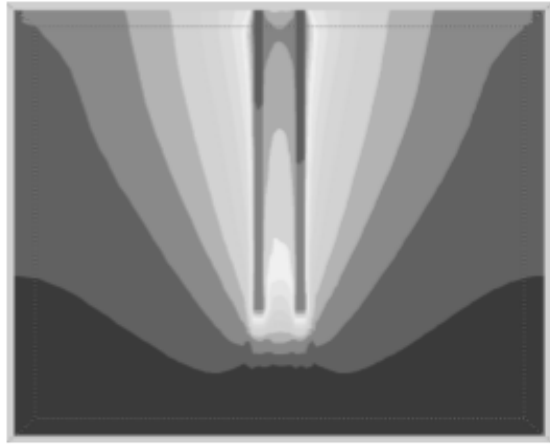


Рис. 4. Графіки осадки паль в куці за визначеними варіантами розрахунку при відстані між палями 6d

а)

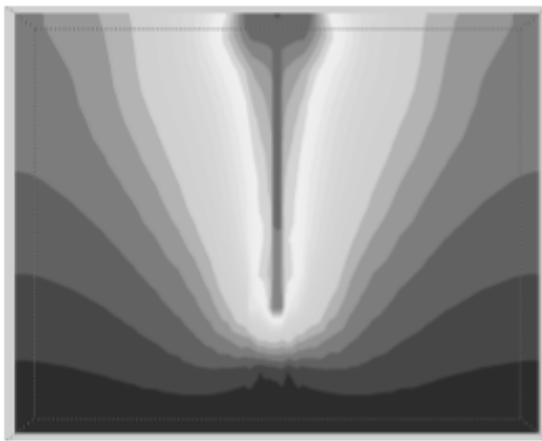


центральна палля

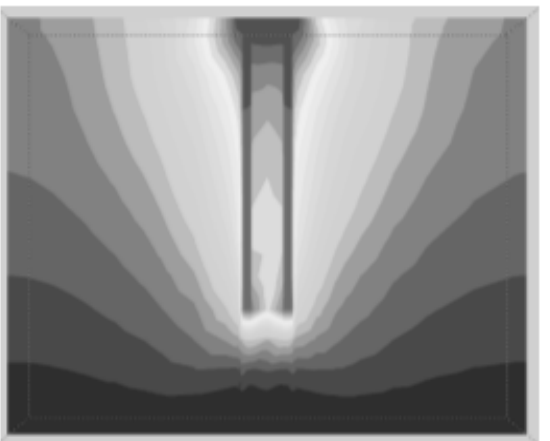


палі по контуру

б)

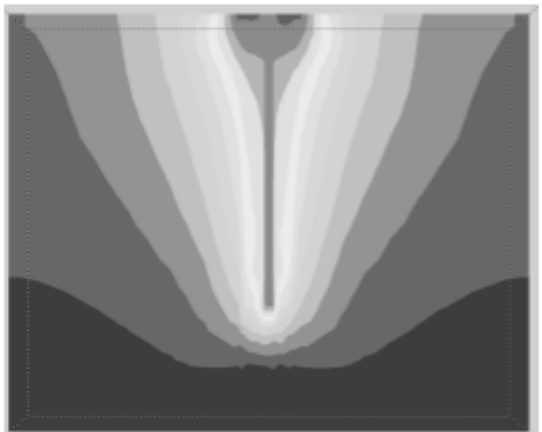


центральна палля

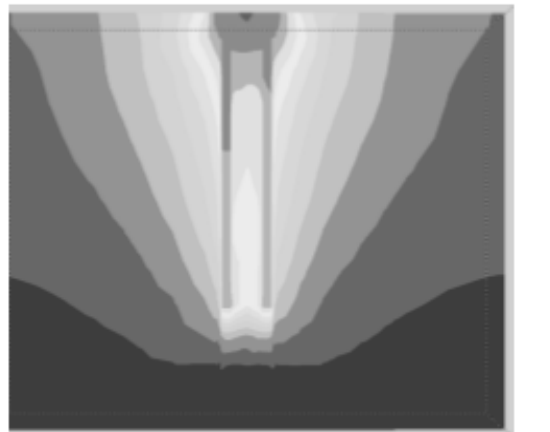


палі по контуру

в)



центральна палля



палі по контуру

Рис. 5. Деформації ґрунтової основи в залежності від наявності та типу ростверку: а) куц паль без ростверку; б) куц паль об'єднаних жорстким ростверком; в) куц паль об'єднаних гнучким ростверком

З графіків на рис. 3 і 4 видно, що ростверк має значний вплив на осадки групи паль, при цьому характер цього впливу залежить від його жорсткості. В цілому, група паль об'єднана ростверком дає менші значення осадок, що відбувається за рахунок передачі навантаження на основу не тільки палями, але й ростверком на верхні шари ґрунту. Особливо це характерно при використанні жорсткого ростверку; так його наявність зменшує осадки паль на 28 % і 26 % при відстані між ними в 3d і 6d відповідно.

Характер передачі навантаження на ґрунтову основу і її деформації при різних варіантах завантаження пальового куща показано на рис. 5.

Таким чином при куці паль необ'єднаних ростверком (рис. 5 а) найбільші деформації основи відбуваються вздовж тіла палі по її довжині, а ґрунт в міжпальовому просторі і палі осідають не як одне ціле. При наявності жорсткого ростверку (рис. 5 б) найбільші деформації виникають у верхній частині основи, при чому рівномірно розподіляються під всією довжиною ростверку. При гнучкій конструкції ростверку видно, що він також передає навантаження на основу (рис. 5 в), але виникають прогини і максимальні деформації у проміжках між палями, оскільки ростверк не забезпечує достатню передачу навантажень на палю, а перевантажує верхні шари основи.

#### **Висновки.**

1. При вирішенні геотехнічних задач, пов'язаних з прогнозом роботи групи паль можна використовувати спеціальні програмні комплекси, що описують нелінійну поведінку ґрунту.

2. Низький ростверк має значний вплив на характер роботи пальового фундаменту і деформації основи, при чому цей вплив залежить від жорсткості самого ростверку.

3. За даними комп'ютерного моделювання найбільш ефективним є жорсткий ростверк, що рівномірно передає навантаження не тільки на палі, але й певну його частку на верхні шари ґрунтової основи, що в цілому призводить до зменшення осадок пальового фундаменту (до 28 %).

4. При влаштуванні гнучкого ростверку не забезпечується необхідна передача навантажень на палі, внаслідок чого під ростверком в проміжках між палями виникає перевантаження верхніх шарів ґрунту і з'являються прогини.

#### **Список літератури:**

1. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд Зміна №1 – Київ, 2011.
2. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты – М.: 1986 г.
3. Сернов В.А. Исследование напряженно-деформированного состояния грунта в межсвайном пространстве / В.А. Сернов // Геотехника Беларуси: наука и практика – Минск, БНТУ, 2008 – С. 239-246.
4. Emiliós M. Comodromosa, Christos T. Anagnostopoulosb, Michael K. Georgiadisb Numerical assessment of axial pile group response based on load test - Computers and Geotechnics, Volume 30, Issue 6, September 2003 - Pages 505–515.
5. Сернов В.А. Опыт применения фундаментов из коротких конических свай с несущими ростверками / В.А. Сернов, О.А. Голубкова, К.Н. Макаров // Геотехника Беларуси: наука и практика – Минск, БНТУ, 2008 – С. 247-253.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Мецєряковим Л.І.  
Надійшла до редакції 29.10.13*